



ĆWICZENIE

LABORATORIUM FIZYKI ATOMOWEJ I JĄDROWEJ

13d

Kwantowa natura promieniowania X i stała Plancka

## 1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie najkrótszej długości fali w widmie promieniowania hamowania w funkcji napięcia  $U$  lampy rentgenowskiej, zweryfikowanie relacji Duane'a-Hunta oraz wyznaczenie stałej Plancka.

## 2. Wstęp teoretyczny

### 1. Opis zjawiska

Elektrony, które w anodzie lampy rentgenowskiej doznają gwałtownego hamowania (głównie w polu elektrycznym wokół jąder atomowych), produkują tzw. *promieniowanie hamowania*. Promieniowanie to, w przeciwieństwie do promieniowania charakterystycznego materiału anody, nie ma ściśle określonej długości fali. W związku z tym widmo promieniowania hamowania jest widmem ciągłym. W roku 1915 William Duane i Franklin Hunt stwierdzili, że dolna granica widma promieniowania hamowania (czyli najmniejsza długość fali, jaką osiąga promieniowanie hamowania,  $\lambda_{min}$ ) jest odwrotnie proporcjonalna do wartości wysokiego napięcia  $U$  podanego na lampę rentgenowską.

$$\lambda_{min} \propto \frac{1}{U} \quad (1)$$

### 2. Hipoteza

Relacja Duane'a-Hunta może być wyjaśniona po przyjęciu dwojakiej, kwantowo-falowej natury promieniowania. Promieniowanie to można bowiem uznać za złożone z cząstek o masie zerowej, *fotonów*, których energia  $E$  związana jest z częstotliwością fali elektromagnetycznej  $f$ , zgodnie z relacją zaproponowaną przez Maxa Plancka w celu wyjaśnienia zjawiska promieniowania ciała doskonale czarnego:

$$E = hf = hc/\lambda \quad (2)$$

$h$  oznacza stałą Plancka,  $\lambda$  to długość fali, a  $c$  to prędkość światła w próżni równa  $2,9979 \cdot 10^8$  m/s.

Zgodnie z zasadą zachowania energii fotony promieniowania rentgenowskiego nie mogą mieć energii większej niż energia kinetyczna elektronów, które hamują w materiale anody. Z kolei energia kinetyczna elektronów wynika z ich rozpędzania w polu elektrycznym między katodą i anodą lampy rentgenowskiej. Wzór na tę energię ma następującą postać:

$$E_{kin} = e \cdot U \quad (3)$$

gdzie  $e$  to wartość ładunku elektronu równa  $1,6022 \cdot 10^{-19}$  A·s, zaś  $U$  to napięcie zasilania lampy rentgenowskiej.

Porównanie powyższych wzorów pozwala na wyprowadzenie zależności zaobserwowanej przez Duane'a i Hunta, przy czym stała proporcjonalności jest tutaj zależna od kilku innych stałych fizycznych, czyli  $c$ ,  $e$  i  $h$ :

$$\lambda_{min} = \frac{hc}{e} \cdot \frac{1}{U} \quad (4)$$

Zakładając, że wartości prędkości światła w próżni i ładunek elektronu są znane, można zatem obliczyć wartość stałej Plancka, a zatem potwierdzić słuszność jego koncepcji. Trzeba tylko zmierzyć zależność minimalnej długości fali w widmie promieniowania lampy rentgenowskiej od odwrotności napięcia zasilającego tę lampę. Powinna ona mieć przebieg liniowy o nachyleniu równym  $hc/e$ .

### 3. Przebieg doświadczenia

- A) Włączyć urządzenie pomiarowe X-Ray Apparatus w konfiguracji z monokryształem NaCl.
- B) Włączyć komputer i uruchomić program „X-Ray Apparatus”.
- C) Wprowadzić do urządzenia X-Ray Apparatus parametry pomiaru z wybranego wiersza tabeli 1 i uruchomić pomiar przyciskiem SCAN (przy wprowadzaniu wartości  $\beta_{min}$  i  $\beta_{max}$ , a także podczas pomiaru musi być włączony tryb pracy COUPLED).
- D) Wykonać takie same pomiary dla pozostałych wierszy tabeli 1.
- E) Otworzyć okno dialogowe „Settings” (lub poprzez klawisz F5) i w zakładce „Crystal” nacisnąć przycisk „Enter NaCl”. Zatwierdzić zmiany klawiszem „OK”. W ten sposób widoczny na ekranie komputera wykres natężenia promieniowania zostanie automatycznie przeliczony z zależności od kąta na zależność od długości fali.
- F) Dla każdego zmierzonego widma nacisnąć prawy przycisk myszy i wybrać polecenie „Calculate Best-fit Straight Line”, po czym posługując się lewym przyciskiem myszy zaznaczyć obszar, w którym do wykresu ma być dopasowana linia prosta. Ta prosta przecina oś poziomą w wartości  $\lambda_{min}$ , która jest wypisywana w dolnej części ekranu. Przepisać tę wartość do odpowiedniego miejsca w tabeli 1.
- G) Przejść do zakładki programu pod nazwą „Planck”.
- H) Korzystając ponownie z polecenia „Calculate Best-fit Straight Line” dopasować linię prostą do punktów na wykresie zależności  $\lambda_{min}$  od  $1/U$ . Z dolnej części ekranu odczytać parametr  $A$  dopasowania, który jest współczynnikiem nachylenia prostej równym  $hc/e$ . Na jego podstawie obliczyć  $h$  i porównać z wartością tablicową, która wynosi  $6,626 \cdot 10^{-34}$  J·s.

**Tabela 1.**

U [kV]	I [mA]	$\Delta t$ [s]	$\Delta\beta$ [°]	$\beta_{min}$ [°]	$\beta_{max}$ [°]	$\lambda_{min}$ [pm]
22,0	1,00	15	0,1	5,2	6,8	
24,0	1,00	15	0,1	4,8	6,4	
26,0	1,00	10	0,1	4,4	6,0	
28,0	1,00	10	0,1	4,0	5,6	
30,0	1,00	5	0,1	3,7	5,4	
32,0	1,00	5	0,1	3,5	5,1	
34,0	1,00	5	0,1	3,2	4,8	
35,0	1,00	5	0,1	3,0	4,5	